

Ergebnisse von Widerstandsmessungen an Rumpfmodellen  
im Hochgeschwindigkeitskanal der DVL.

Von H. Melkus

Uebersicht: Im Hochgeschwindigkeits-Windkanal der DVL ( $D_w = 2,7$  m) wurden bei hohen Unterschallgeschwindigkeiten Widerstandsmessungen an zwei Rumpfmodellen (Arado Ar - 234 und Messerschmitt Me - 262) mit glatter Oberfläche durchgeführt, dabei der Einfluß der Bugform, der Führersitzverkleidung sowie eines Antennenaufbaus auf die Widerstandsänderung dieser Modellkörper versuchsmäßig bestimmt. Die Ergebnisse werden mit Widerstandsbeiwerten glatter Platten verglichen.

Gliederung:

- 1 Modellkörper
- 2 Versuchseinrichtung und Widerstandsermittlung
- 3 Widerstand der Modellkörper
  - 3.1 Widerstandsverlauf
  - 3.2 Zusammensetzung der Widerstandsbeiwerte
  - 3.3 Einfluß der Formparameter
- 4 Zusammenfassung
- 5 Schrifttum.

Der Bericht umfaßt:

12 Seiten Text und  
13 Abbildungen

46/2/12

## 1 Modellkörper.

Um Aufschluß über das Verhalten von Rumpfkörpern im Bereich hoher Unterschallgeschwindigkeit zu erhalten, sind im Hochgeschwindigkeits-Windkanal der DVL ( $D_w = 2,7$  m) Widerstandsmessungen an zwei Körpern durchgeführt, die eine modellähnliche Verkleinerung der Flugzeugrumpfe Arado - 234 und Messerschmitt Me - 262 darstellen. Die untersuchten Modelle sind in den Abb. 1 und 3 im Maßstab 1:2 wiedergegeben.

Das erste Modell (Ar-234) ist ein langgezogener völliger Körper mit gerader Oberseite und stumpfer etwas heruntergezogener Nase. Das Rumpfmittelteil ist nahezu parallel ausgeführt. Die Rumpfquerschnitte selbst können in erster Näherung als Rechtecke mit stark abgerundeten Ecken angesehen werden. Der größte Querschnitt, der gleichzeitig auch der Stirnfläche entspricht, liegt bei  $0,3 L$ . Der Schlankheitsgrad, hier durch das Verhältnis: hydraulischer Durchmesser  $D_h$  des Bezugsquerschnittes (größten Querschnittes) zur Rumpflänge  $L$  mit  $D_h = 4 F/U$  ( $F$  = Fläche und  $U$  = Umfang des Bezugsquerschnittes) definiert, beträgt  $D_h/L = 0,113$ .

Wesentlich anders ist der Rumpf der Me - 262 ausgeführt. Die Rücklage des größten Querschnittes beträgt  $x_D/L = 0,4$  bei einem Schlankheitsverhältnis von  $D_h/L = 0,13$ . Die Rumpfquerschnitte können eher auf ein Dreieck als auf ein Rechteck zurückgeführt werden. Im Gegensatz zum Arado-Rumpf, der ein verhältnismäßig völliges Rumpfvorderteil aufweist, ist hier die Rumpfnase stark zugespitzt. Das Rumpfende aber läuft auch bei diesem Modell in eine senkrechte Schneide aus.

Beide Modelle sind derart hergestellt, daß Änderungen der Körperkonturen in gewissen Abschnitten durch Auswechseln von Teilen leicht durchführbar sind. Beim Ar-234 - Modell läßt sich das Rumpfvorderteil, beim Me 262 - Rumpf das Oberteil im Bereich  $0,318 L \div 0,61 L$  durch passende Teile mit geänderten Konturen ersetzen. In Abbildung 2 sind die Änderungen der Bugform des Arado - Rumpfes wiedergegeben. Die neuen Bugformen (Ausführungen C 3 und C 5) zeichnen sich im Vergleich mit der Bugform A des Ausgangsmodells (in Abb. 2 durch punktierte Linie angegeben) durch größere Völligkeit aus. Neben einer Vergrößerung der Bug-

querschnitte findet hier gleichzeitig eine Verschiebung der einzelnen Flächenschwerpunkte nach oben statt, da die Konturänderungen sich im wesentlichen auf die Rumpfoberseite und die Seitenwände beschränken. Die Bugquerschnitte der Ausführungen  $C_3$  und  $C_5$  sind zum Teil auch größer als die Bezugsfläche bei  $0,3 L$ , so daß die Stirnfläche dieser Ausführungen nicht mehr dem größten Rumpfquerschnitt entspricht. Sie ist hier als Projektion des Rumpfes auf die  $yz$ -Ebene definiert.

Zur Ermittlung des Zusatzwiderstandes einer Kreisantenne wurden die Ausführungen A und  $C_5$  des Arado-Rumpfes mit einer modellähnlichen Verkleinerung dieses Gerätes versehen. Die Kreisantenne konnte hier durch ein Rotationsellipsoid nachgebildet werden, welches über einen profilierten Stiel mit der Rumpfoberseite etwa in Rücklage des Flugzeugschwerpunktes befestigt war. Die Abmessungen und die Form dieses Zusatzgerätes sowie der Befestigungsort am Rumpf selbst sind in Abb. 1 maßstäblich wiedergegeben.

Die Umriss- und Anordnung der Serienkabine A1 des Me-262-Rumpfes veranschaulicht Abb. 4; in den darauf folgenden (Abb. 5 und 6) sind die Kabinen B und C sowie die Ausführungen  $A_2 + A_4$  dargestellt<sup>1)</sup>. Die Kabine B (Rennekabine) zeichnet sich durch wesentlich kleinere Abmessungen und sanftere Uebergänge aus. Die Abmessungen der übrigen sind annähernd gleich. Die Kabinen unterscheiden sich im wesentlichen nur durch mehr oder minder sanfte Uebergänge zwischen dem aus ebenen Flächen zusammengesetzten Kabinenvorderteil und der eigentlichen Führersitz-Ueberdachung. Lediglich bei Kabine C sind die Konturen etwas schärfer als bei den übrigen: hier wird die Kabinennase durch zwei und nicht, wie bei den anderen, durch drei ebene Flächen gebildet. Die Form des Kabinenauslaufs ist aber auch hier die gleiche geblieben.

Die Oberfläche der untersuchten Modelle war in allen Fällen glatt. Der Verlauf der Reynoldsschen Kennzahl  $Re$  in Abhängigkeit

<sup>1)</sup> Geringe Abweichungen der in Abb. 5 und 6 angegebenen Kabinenausführungen des Me-Rumpfes sowie auch z.T. der Bugformen  $C_3$  und  $C_5$  des Ar-Rumpfes (Abb. 2) von den im Windkanal untersuchten Modellen sind durchaus möglich, da die zur Fertigstellung des Berichtes erforderlichen Unterlagen in dieser Hinsicht infolge Kriegseinwirkung unvollständig waren. Da aber der Widerstandsverlauf durch geringe Konturänderungen hier nur wenig beeinflusst wird (vergl. Seite 11), die Meßergebnisse aber darüber hinaus von Interesse sind, werden sie in dieser, wenn auch nicht ganz exakten Form mitgeteilt.

von der Mach-Zahl  $M$  ist für die Modellrumpfe Ar-234 und Me-262 in Abb. 7 wiedergegeben. Die Re-Zahl wurde unter Berücksichtigung des Temperatureinflusses gemäß den im Hochgeschwindigkeits-Windkanal gegebenen Meßbedingungen ermittelt. Als charakteristische Länge ist hierbei die Rumpflänge  $L$  gewählt worden.

## 2 Versuchseinrichtung und Widerstandsermittlung.

Der Widerstand der Modellrumpfe als Funktion der Mach-Zahl der Anströmgeschwindigkeit wurde durch Wägung der am Prüfkörper angreifenden Luftkräfte bestimmt. Zur Halterung der Modelle in der Windkanal-Meßstrecke benutzte man eine Aufhängung, die hinsichtlich einer störungsfreien Umströmung des Modells gute Eigenschaften auswies. [1] Abb. 8 veranschaulicht den Aufbau und Wirkungsweise dieser Modellhalterung. Die Modellwiderstände werden hier über einen im Innern des Tragrohrs  $a$  geführten Draht  $i$  auf die außerhalb der Strahldurchführung angeordnete Waage übertragen.

Die von der Waage angezeigten Gesamtkräfte wurden in die durch gesonderte Messungen ermittelten Widerstandsanteile der Modellaufhängung berichtigt. Zur Bestimmung des Widerstandes der Aufhängung wurde die Halterstrebe allein, d.h. ohne einen als Blende vorgeschalteten Modellkörper vermessen. Da die Umströmung der Modellhalterung bei Anwesenheit eines Modellkörpers sich von derjenigen ohne den Körper etwas unterscheidet, entspricht der aus der Differenz der Meßgrößen.

1. Widerstand des Modells einschließlich Aufhängung und

2. Widerstand der Aufhängung allein

ermittelte Modellwiderstand, streng genommen, nicht dem auf das Modell selbst entfallenden Anteil.

Das weiteren können die Meßgrößen 1. und 2. auch durch das Mitmessen von Druckkräften, die infolge gegenseitiger Beeinflussung sowohl am Modell, als auch an der Aufhängung angreifen, gefälscht werden. Die Resultierende dieser auf das Modell und die Aufhängung verteilten Kräfte ist bekanntlich Null. Da aber ein Teil am fest verankerten Rohr, der andere am an die Waage angeschlossenen Modell angreift und somit mitgemessen wird, können, falls die Wechselwirkung zwischen Modell und Aufhängung groß ist, die

Ergebnisse durch die von der Waage registrierte Druckkraftkomponente gefälscht werden.

Auf Grund früher durchgeführter Versuche [1], [2] ist jedoch anzunehmen, daß bei den vorliegenden Widerstandsmessungen der Meßfehler nur gering sein wird, da auch hier den Einbau verhältnismäßig schlanker Modelle die Strömungsverhältnisse in der Umgebung der Halteorgane und somit auch die Druckverteilung im Bereich hoher Mach-Zahlen nicht wesentlich ändert. Dennoch wurden zur Kontrolle die Spaltdrücke  $p_v$  und  $p_h$  (Abb.8) mitgemessen und die Druckdifferenz  $\Delta p = p_h - p_v$  beider Zustände

1. Aufhängung mit Modell

2. Aufhängung allein

untereinander verglichen. Dabei erwies sich, daß durch den Modelleinbau in der Nähe der Halteorgane im allgemeinen nur sehr geringe Änderungen der Druck- und somit auch der Geschwindigkeitsverteilung auftraten. Um fernerhin Fehler infolge Druckschwankungen in den Spalten auszuschalten, wurden die Größen

$$\Delta W = F_s (\Delta p_{\text{Aufhängung mit Modell}} - \Delta p_{\text{Aufhängung ohne Modell}})$$

mit

$F_s$  = Stirnfläche der beweglichen Haltestange

$\Delta p = p_h - p_v$  - Differenz der Drücke im hinteren und vorderen Spalt

gebildet und die Modellwiderstände, soweit erforderlich, um diese Korrekturglieder berichtigt. Meist aber lagen die  $\Delta W$ -Werte innerhalb der Meßgenauigkeitsgrenze.

### 3 Widerstand der Modellkörper.

#### 3.1 Widerstandsverlauf.

In den Abb. 9 und 10 sind die ermittelten Widerstandsbeiwerte der Modellrumpfe Ar-234 und Me 262 als Funktion der Mach-Zahl der Anströmgeschwindigkeit dargestellt. Die Rumpfe wurden hierbei als glatte Körper und ohne jegliche Aufbauten vermessen. Des weiteren ist in den folgenden Abbildungen der Einfluß einiger in der Praxis oft vorkommender Abänderungen der Rumpfform sowie notwendiger Aufbauten auf den Widerstandsverlauf im Bereich hoher

Mach-Zahlen wiedergegeben. So z.B. erkennt man durch Vergleich der entsprechenden Kurvenverläufe auf Abbildung 11 den Zusatzwiderstand, der bei Verwendung eines völligeren Rumpfvorderteils bzw. bei Hinzunahme einer Kreisantenne beim Ar-234-Rumpf entsteht. Schließlich ist in Abb. 12 und 13 die Widerstandserhöhung angegeben, die durch Anbringen einer Führersitzverkleidung am Me-262-Rumpf hervorgerufen wird. Die in diesen Abbildungen dargestellten Kurven, die den Widerstandsverlauf bei Verwendung verschiedener Kabinenausführungen kennzeichnen, gestatten gewisse Rückschlüsse hinsichtlich einer aerodynamisch günstigen Kabinenform.

Die gemessenen Widerstandsbeiwerte der Ausgangsmodelle Ar-234 und Me-262 sind sowohl auf die Stirnfläche (Abb. 9) als auch auf die Oberfläche (Abb. 10) der Modelle bezogen. Die Hinzunahme der Oberfläche als Bezugsgröße geschah auf Grund von Erfahrungen, die bei früheren Messungen [1], [2] gesammelt werden konnten. Letztere haben gezeigt, daß der Widerstand schlanker, spindelähnlicher Rümpfe im wesentlichen auf die der Körperoberfläche proportionale Reibung zurückzuführen ist. Des weiteren sind die Widerstände derjenigen Modelle, die durch örtlich begrenzte Aenderungen der Konturen aus den Grundmodellen hervorgegangen sind, entweder auf die Oberfläche (Arado-Rümpfe) oder auf die Stirnfläche (Messerschmitt-Modelle) bezogen, und zwar ist, um den Zusatzwiderstand der verschiedenen Modelländerungen deutlicher hervorzuheben, als Bezugsgröße lediglich die Stirn- bzw. Oberfläche der Ausgangsmodelle eingeführt.

Der Widerstandsverlauf der Ausgangsmodelle Ar-234 und Me-262 (Abb. 9 und 10) läßt erkennen, daß beide Körper strömungstechnisch günstige Formen aufweisen. In einem verhältnismäßig großen Mach-Zahl-Bereich tritt bei Steigerung der Anströmgeschwindigkeit keine wesentliche Aenderung der Widerstandsbeiwerte ein. Die Streuung der einzelnen Werte entspricht der im Hochgeschwindigkeits-Windkanal erzielbaren Meßgenauigkeit. Weiterhin ist das örtliche Ueberschreiten der Schallgeschwindigkeitsgrenze, das bei beiden Rümpfen etwa bei  $M = 0,6 \div 0,65$  beginnt, lediglich durch sanft einsetzende Widerstandszunahme gekennzeichnet. In diesem Bereich findet also nur schwache Stoßausbildung, jedoch

keine Grenzschichtablösung statt. Erst bei verhältnismäßig großer Mach-Zahl ( $\sim 0,85 M$ ) wird der Drucksprung im Verdichtungsstoß von der Grenzschicht nicht mehr überwunden. Erst hier findet, wie der steile Anstieg des Widerstandes beweist, stärkere Grenzschichtablösung statt.

Die Umgestaltung der Modellrumpfe sowohl durch Bugvergrößerung als auch durch Anbringung einer Führersitzverkleidung bzw. einer Kreisantenne läuft im wesentlichen auf eine Verschlechterung der aerodynamischen Eigenschaften der Modelle hinaus. Wie aus den Abb. 11 bis 13 hervorgeht, findet neben einer Widerstandszunahme im Bereich inkompressibler Strömung gleichzeitig eine Verringerung derjenigen Mach-Zahl statt, bei der infolge Grenzschichtablösung der Widerstand steil anzusteigen beginnt.

### 3.2 Zusammensetzung der Widerstandsbeiwerte.

Aus Abb. 10 erkennt man, daß im Bereich gesunder Strömung die auf die Modelloberfläche bezogenen Widerstandsbeiwerte der Ausgangsmodelle Ar-234 und Me-262 annähernd gleich sind, obwohl die Modelle selbst hinsichtlich ihrer äußeren Form wesentliche Unterschiede aufweisen. Es ist naheliegend anzunehmen, daß die Widerstandsbeiwerte dieser schlanken aerodynamisch günstigen Körper im wesentlichen nur von der Größe des Reibungsbeiwertes abhängig sind. Um die Annahme zu erhärten, sind in Abb. 10 die Reibungsbeiwerte glatter Platten  $C_f = f(Re) = f(M)$  für zwei verschiedene Lagen  $e_u$  des Grenzschichtumschlagpunktes eingetragen. Die obere gestrichelte Kurve ( $e_u/L_{Pl} = 0$ ) entspricht dem Reibungsbeiwert einer Platte bei vollturbulenter Grenzschichtströmung, die darunter liegende ( $e_u/L_{Pl} = 0,2$ ) der Plattenreibung für den Fall, daß die Grenzschicht im ersten 5-tel der Plattenlänge laminar strömt. Früher durchgeführte Messungen [1] an schlanken profilierten Modellrumpfen haben gezeigt, daß der Grenzschichtumschlagpunkt tropfenförmiger Rotationskörper mit parallelem Mittelteil (im Bereich  $0,3 L \pm 0,45 L$ ) und einem Dickenverhältnis  $D/L = 0,15$  schon bei mittleren Mach-Zahlen auf etwa  $e_u/L = 0,2$  herabsinkt. Fernerhin konnte festgestellt werden, daß besonders bei schlanken Körpern, ( $D/L = 0,1 \pm 0,2$ ) der Umschlagpunkt im starken Maße vom Schlankheitsverhältnis

D/L und vom Profilstrak abhängig ist; sowohl durch Verschlechterung der Umrissform (Abweichung von der idealen Tropfengestalt) als auch durch Verringerung des Schlankheitsverhältnisses D/L wurde da das Vorwandern des Umschlagpunktes begünstigt. Nimmt man also an, daß bei den hier untersuchten Rumpfmolellen der Umschlagpunkt im mittleren Mach-Zahl-Bereich bei  $\sim 0,2$  L liegt, so läßt sich z.B. für  $M = 0,5$  der Druckwiderstandsanteil des Ar-234-Rumpfes zu  $8,2\%$  und des Me-262-Rumpfes zu  $9,5\%$  (auf den Widerstand des Ausgangsmodells bezogen) ermitteln. Dies Ergebnis stimmt annähernd mit dem für einen Rotationsrumpf mit parallelem Mittelstück gefundenen Wert von  $\sim 6,9\%$  überein. Höchstwahrscheinlich wird aber der Druckwiderstandsanteil der beiden Modell-Rümpfe kleiner sein als die oben errechneten Werte und zwar auf Kosten einer größeren Vorlage der Umschlagstelle, da der Druckwiderstandsanteil des erwähnten Rotationsrumpfes im Vergleich zu anderen daselbst untersuchten tropfenförmigen Modellen der NACA-Systematik einen Höchstwert darstellt. Gleichfalls ist er einem Körper mit größerem Dickenverhältnis ( $D/L = 0,15$  im Gegensatz zu  $D/L = 0,113$  bzw.  $0,13$ ) zugeordnet.

Bei kleineren Anströmgeschwindigkeiten ist der Widerstandsbeiwert der Modelle zum Teil kleiner als der Reibungswert einer ebenen Platte mit  $e_u/L = 0,2$ . Es ist anzunehmen, daß der Umschlagpunkt hier weiter nach hinten verschoben liegt und nur bei steigender Mach-Zahl infolge Druckgradientenerhöhung zu kleineren  $e_u$ -Werten, d.h. in Richtung Vorderkante wandert.

Man erkennt, daß im Bereich inkompressibler Strömung der Modellwiderstand im wesentlichen durch die Größe der Modelloberfläche und den Reibungswert einer ebenen Platte bei entsprechender Reynoldsscher Zahl und verhältnisgleicher Umschlagpunktlage bestimmt ist, da der Anteil des von der Körperform abhängigen Druckwiderstandes gering ist. Bei der Abschätzung von Rumpfwiderständen erscheint es daher zweckmäßig, von dieser Tatsache Gebrauch zu machen.

Im Bereich kompressibler Strömung werden die Widerstandsbeiwerte der Modellrümpfe durch die hinzukommenden Energieverluste im Verdichtungsstoß, fernerhin durch Grenzschichtablösung erhöht. Bis zu  $M = 0,85$  beträgt die Widerstandserhöhung jedoch nur  $10 \div 12\%$  des Normalwiderstandes, ist also bei einer verhältnis-



mäßig hohen Mach-Zahl (im Vergleich mit Profilen gleichen Dickenverhältnisses in ebener Strömung) noch klein. Diese günstige Eigenschaft der Modellrumpfe ist vorwiegend durch die Strömungsart (und nicht etwa durch eine besonders günstige Rumpfform) bedingt, da bekanntlich bei räumlicher Umströmung die Uebergeschwindigkeiten, d.h. die Zusatzgeschwindigkeiten längs der Körperkontur, bei gleichem Dickenverhältnis kleiner sind als bei ebener.

### 3.3 Einfluß der Formparameter.

In Abb. 11 sind die ermittelten Widerstandsbeiwerte der Ausführungen C3 und C5 des Arado-Rumpfes sowie der Widerstandsverlauf der Ausführungen A und C5 bei Hinzunahme einer Kreisantenne im Bereich hoher Geschwindigkeiten als Funktion der Mach-Zahl  $M$  aufgetragen. Der besseren Uebersicht wegen ist hier gleichfalls der Widerstandsverlauf des Ausgangsmodells (dünn ausgezogene Linie) mit angegeben. Um die Widerstandserhöhung deutlicher hervorzuheben, wurden die Meßwerte aller Ausführungen einheitlich auf die Oberfläche des Ausgangsmodells bezogen.

Wie der Vergleich zeigt, beträgt im mittleren Mach-Zahl-Bereich die Widerstandserhöhung bei Verwendung völligerer Bugformen etwa 4,2 % (Ausführung C3) bzw. 10 % (Ausführung C5) bei einer Oberflächenvergrößerung von nur 3,1 % bzw. 5,3 %. Offenbar wird durch die Umgestaltung des Buges (vgl. Abb. 2) neben einer Vorverlagerung der Umschlagstelle (besonders im Bereich kleiner Mach-Zahl) auch eine Zunahme des Druckwiderstandsanteils bewirkt, die den Widerstandsbeiwert erhöht.<sup>2)</sup> Fernhin nehmen beim Umströmen der völligeren Bugformen C3 und C5 die Uebergeschwindigkeiten zu, wodurch das Auftreten von Störungen im kompressiblen Bereich gefördert wird. Im Widerstandsverlauf äußert sich

<sup>2)</sup> Werden andererseits die Modellwiderstände auf die entsprechende Stirnfläche bezogen, so verringert sich der Widerstandsbeiwert (der oben angegebenen Erhöhung des  $c_w$ -Wertes von 4,2 % bzw. 10 % steht eine Vergrößerung der Stirnfläche von  $\frac{0,0043 - 0,0040}{0,0040} \cdot 100 = 7,5\%$  bzw.  $\frac{0,0045 - 0,0040}{0,0040} \cdot 100 = 12,5\%$  gegenüber), obwohl durch die Bugformänderungen im allgemeinen eine Verschlechterung der aerodynamischen Eigenschaften eintritt. Mithin ist bei Rumpfkörpern der Absolutwert eines auf die Stirnfläche bezogenen Widerstandsbeiwertes kein hinreichendes Kriterium für die aerodynamische Güte des Modells.

dies durch die Abnahme der Mach-Zahl des Widerstandsanstiegs, d.h. derjenigen Mach-Zahl, bei der infolge Grenzschichtablösung der Widerstand steil anzusteigen beginnt. Wie ersichtlich, ruft der Einbau des Buges C3 nur eine geringe Verlagerung der Widerstandskurve hervor; bei Verwendung der Bugform C5 verschiebt sich dagegen die Kurve um etwa  $\Delta M \approx 0,06$ , also recht erheblich zu kleineren Werten hin.

Die Verwendung einer Kreisantenne in der in Abb. 1 angegebenen Form ist im Bereich mittlerer Mach-Zahlen mit einer Widerstandserhöhung von etwa 30 % verbunden. Während nun der durch den Einbau der Antenne hervorgerufene Widerstandszuwachs bei beiden mit dem Gerät vermessenen Ausführungen sich zunächst kaum unterscheidet, ist im Bereich kompressibler Strömung die Widerstandserhöhung bei der Ausführung A wesentlich größer als bei C5. Anscheinend findet bei der letzteren durch die am Bug sich auslösenden Verdichtungsstöße ein Geschwindigkeitsabbau in der Umgebung der Antenne statt, sodaß eine Verzögerung der Kompressibilitätsstörungen an der Antenne und daher in gewissen Grenzen auch eine Ersparnis an Ablösungswiderstand erzielt werden kann.

Abb. 12 und 13 veranschaulichen den Widerstandsanstieg, den der Einbau einer Führersitzverkleidung im Bereich mittlerer und hoher Mach-Zahlen hervorruft. Um den Vergleich zu erleichtern, ist hier der Widerstandsverlauf des Ausgangsmodells mit eingezeichnet, und die Widerstände einheitlich auf die Stirnfläche des Ausgangsmodells bezogen.

Abgesehen von Kabine B unterscheiden sich die Abmessungen der hier untersuchten 6 Kabinenausführungen nur in geringem Maße. In dieser Meßreihe sollte neben einer Widerstandsermittlung von Führersitzverkleidungen auch der Einfluß eines mehr oder weniger sanften Stromlinienverlaufs bei den letzteren im Bereich hoher Mach-Zahlen festgestellt werden. Wie ersichtlich, beträgt der Widerstandszuwachs, der durch den Einbau einer Normalkabine entsteht, im mittleren Mach-Zahlbereich etwa 5,5 + 6 %. Dabei wird durch die Kabine die Oberfläche nur um etwa 2,6 % vergrößert, so daß auch hier, offenbar eine Zunahme des Druckwiderstandsanteils stattfindet. Bei Steigerung der Anströmgeschwindigkeit macht sich der Einfluß der Formverschlechterung im stärkeren Maße bemerkbar. So z.B. verschiebt sich die Widerstandskurve um etwa  $\Delta M = 0,05$  in Richtung kleinerer Werte.

Wie aus Abb. 13 hervor geht (Kabinen A2 + A4) wird der Widerstandsverlauf im Bereich kompressibler Strömung nur wenig durch ein allzu sorgfältiges Abglätten und Abrunden der vorspringenden Teile beeinflusst. Die dabei erzielten Widerstandsänderungen liegen im Bereich der Meßgenauigkeit. Sind die Uebergänge aber zu schroff, wie zum Beispiel bei Kabine C (die Kabinennase wird hier durch 2 ebene schräggestellte Platten gebildet), sodaß der Anschluß an die Führersitzüberdachung durch stärkere Krümmung gekennzeichnet ist), so erhöht sich der Widerstand merklich, da an diesen Uebergängen sich anscheinend zusätzliche Verdichtungsstöße ausbilden, die die Ablösung fördern.

Das günstigste Verhalten im kompressiblen Bereich zeigt erwartungsgemäß Kabine B, die im Vergleich zu den anderen wesentlich kleiner und strömungstechnisch günstiger ausgeführt ist. Wie ersichtlich, findet hier lediglich eine geringe Abnahme der Mach-Zahl des Widerstandsanstiegs statt, die im wesentlichen durch die Zunahme der Uebergeschwindigkeiten bedingt ist. Dennoch erscheint es aerodynamisch gesehen, ungünstig, eine Kabine an der Stelle der größten Rumpfdicke anzuordnen, da eine zusätzliche Verdickung im allgemeinen eine Vergrößerung der Uebergeschwindigkeiten, mithin eine Verschlechterung des Widerstandsverhaltens im Bereich hoher Mach-Zahlen zur Folge hat. Es ist anzunehmen, daß eine größere Vorlage u.a. eine gewisse Widerstandersparnis herbeiführen könnte.

#### 4 Zusammenfassung:

An zwei Rumpfmodellen wurde bei glatter Oberfläche der Widerstand im Geschwindigkeitsbereich  $M = 0,2 + 0,95$  bestimmt und dabei der Einfluß der Bugform, der Führersitzverkleidung sowie eines Antennenaufbaus auf den Widerstandsverlauf untersucht.

Hierbei zeigt sich, daß das Verhalten schlanker Rumpfkörper mit gutem Stromlinienverlauf in erster Näherung dem Verhalten tropfenförmiger Drehkörper gleicher Relativdicke und Dickenverteilung entspricht. Auch hier ist der Anteil am Druckwiderstand verhältnismäßig klein, so daß der Widerstandsbeiwert im Bereich inkompressibler Strömung im wesentlichen auf den Reibungswert einer glatten ebenen Platte bei entsprechender Reynoldszahl und verhält-

nisgleicher Umschlagspunktlage zurückgeführt werden kann.

Im Bereich kompressibler Strömung ist das Widerstandsverhalten von Rumpfkörpern infolge räumlicher Umströmung günstiger als bei Profilen mit gleichem Dickenverhältnis. Das örtliche Ueberschreiten der Schallgeschwindigkeitsgrenze ruft zunächst nur geringe Widerstandserhöhung hervor; bis zu  $M = 0,85$  beträgt die Widerstandszunahme nur etwa  $10 \pm 12 \%$ .

Änderungen der Umrißform wie z.B. Bugvergrößerungen, Anbringung von Aufbauten und dergl. sind mit einer Widerstandserhöhung verbunden. Neben einer der Oberflächenvergrößerung proportionalen Widerstandszunahme findet meist auch ein Druckwiderstandszuwachs statt. Im Bereich kompressibler Strömung verschiebt sich infolge Zunahme der Uebergeschwindigkeiten auch die Mach-Zahl des Widerstandsanstiegs zu kleineren Werten hin.

Ein allzu sorgfältiges Abrunden vorspringender Teile bei Nichtänderung der Hauptabmessungen hat geringen Einfluß auf den Widerstandsverlauf auch im Bereich hoher Mach-Zahlen. Der hierbei erzielte Gewinn ist im Vergleich zum Arbeitsaufwand nur gering.

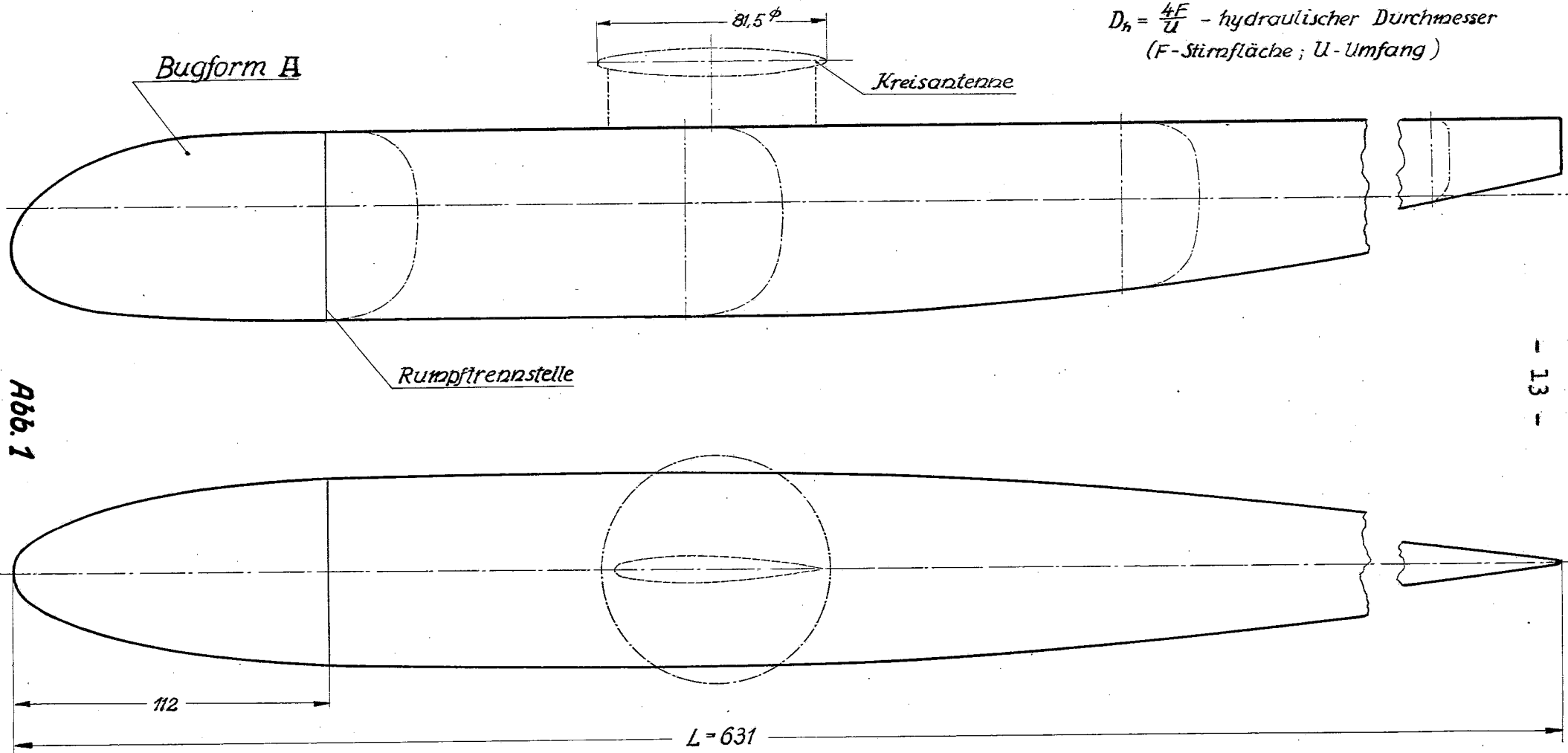
Schrifttum:

- [1] H. Melkus, Messungen an Rotationskörpern im Hochgeschwindigkeitskanal der DVL.  
(1946)
- [2] B. Göthert, Hochgeschwindigkeitsmessungen an rotations-symmetrischen Körpern.  
UM 1222/1 (1944).

# Arado Ar-234 Rumpfmodell

Dickenverhältnis:  $D_h/L = 0,113$

$D_h = \frac{4F}{U}$  - hydraulischer Durchmesser  
(F - Stirnfläche; U - Umfang)



Modelloberfläche (ohne Kreisanterenne) — 0,11120 m<sup>2</sup>  
Stirnfläche — 0,00406 m<sup>2</sup>

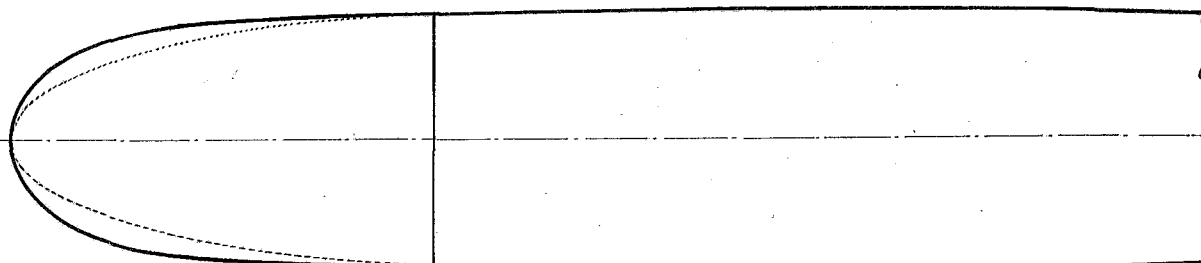
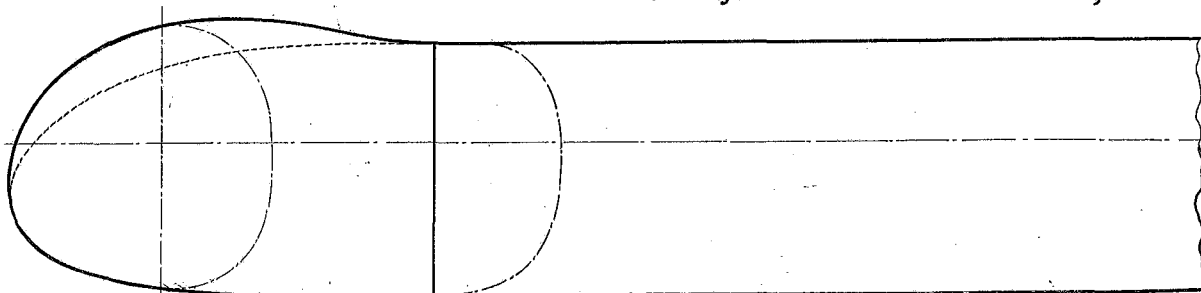
Oberfläche d. Kreisanterenne — 0,0136 m<sup>2</sup>  
Stirnfläche — " — 0,00082 m<sup>2</sup>



**Bugform C3**

Oberfläche d. Modells - 0,1146 m<sup>2</sup>

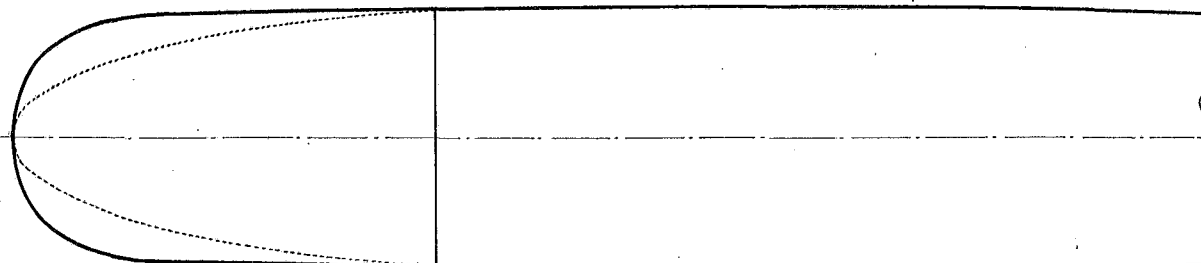
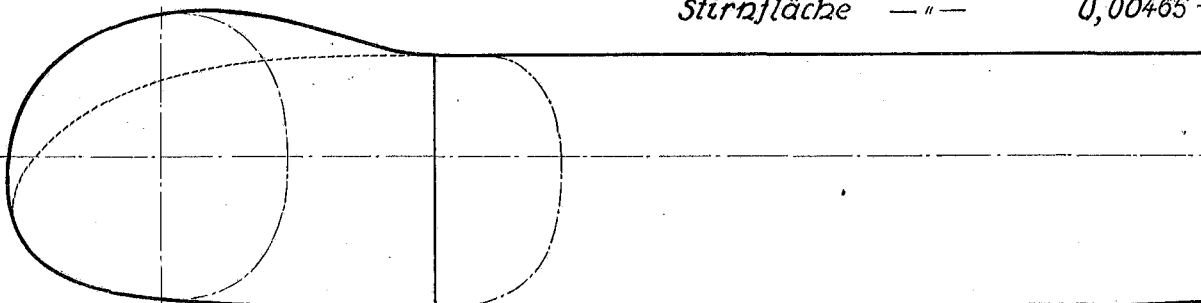
Stirnfläche — " — 0,0043 m<sup>2</sup>



**Bugform C5**

Oberfläche d. Modells - 0,1171 m<sup>2</sup>

Stirnfläche — " — 0,00465 m<sup>2</sup>



# Messerschmitt Me-262 Rumpfmodell

Dickenverhältnis:  $D_h/L = 0,13$   
 $L = 531 \text{ mm}$

$D_h = \frac{4F}{U}$  - hydraulischer Durchmesser  
 (F - Stirnfläche; U - Umfang)

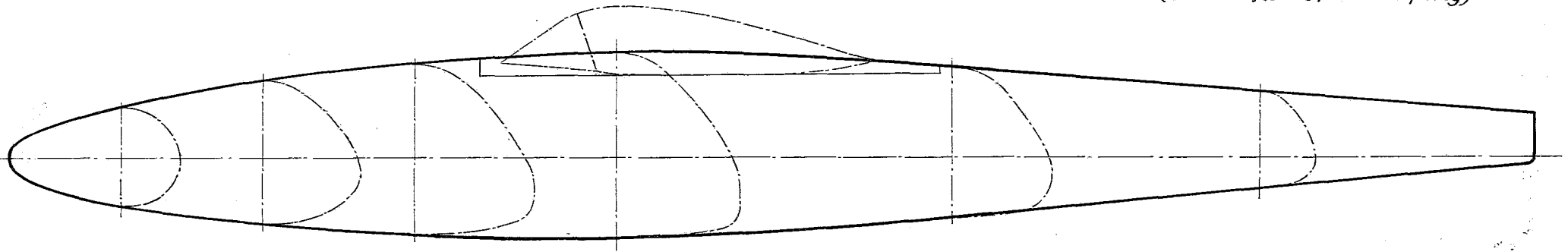
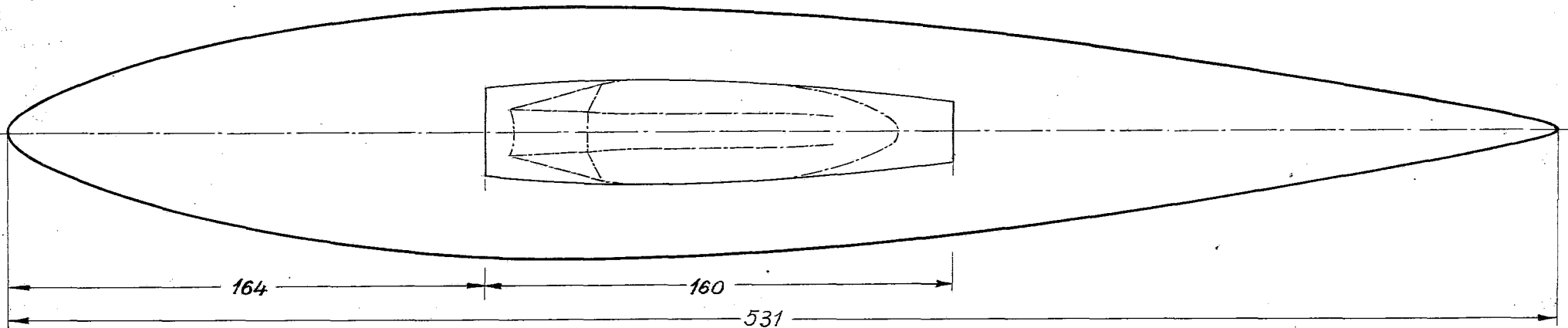


Abb. 3

- 15 -



Modelloberfläche (ohne Kabine) -  $0,0797 \text{ m}^2$ ;  
 Stirnfläche -  $0,0042 \text{ m}^2$ ;

Modelloberfläche mit Kabine A1 -  $0,0818 \text{ m}^2$ ;  
 Stirnfläche -  $0,00455 \text{ m}^2$ ;



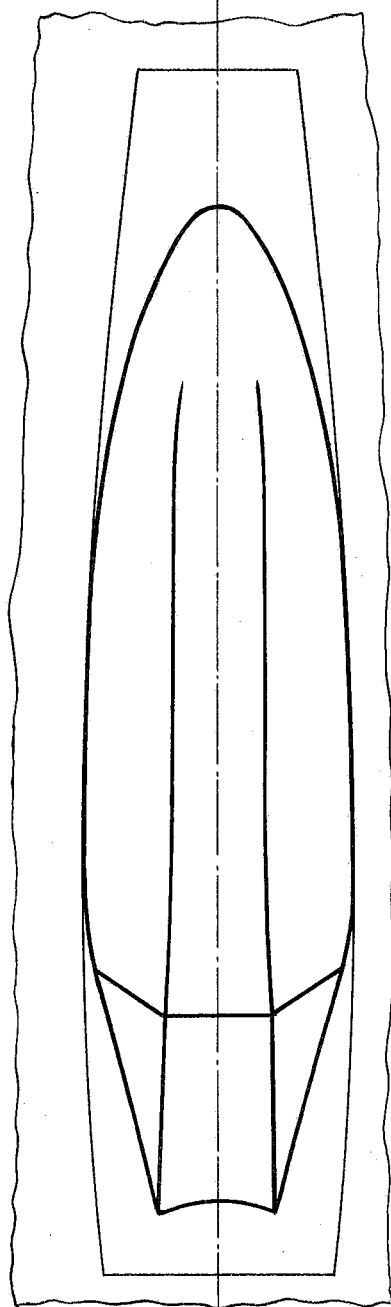
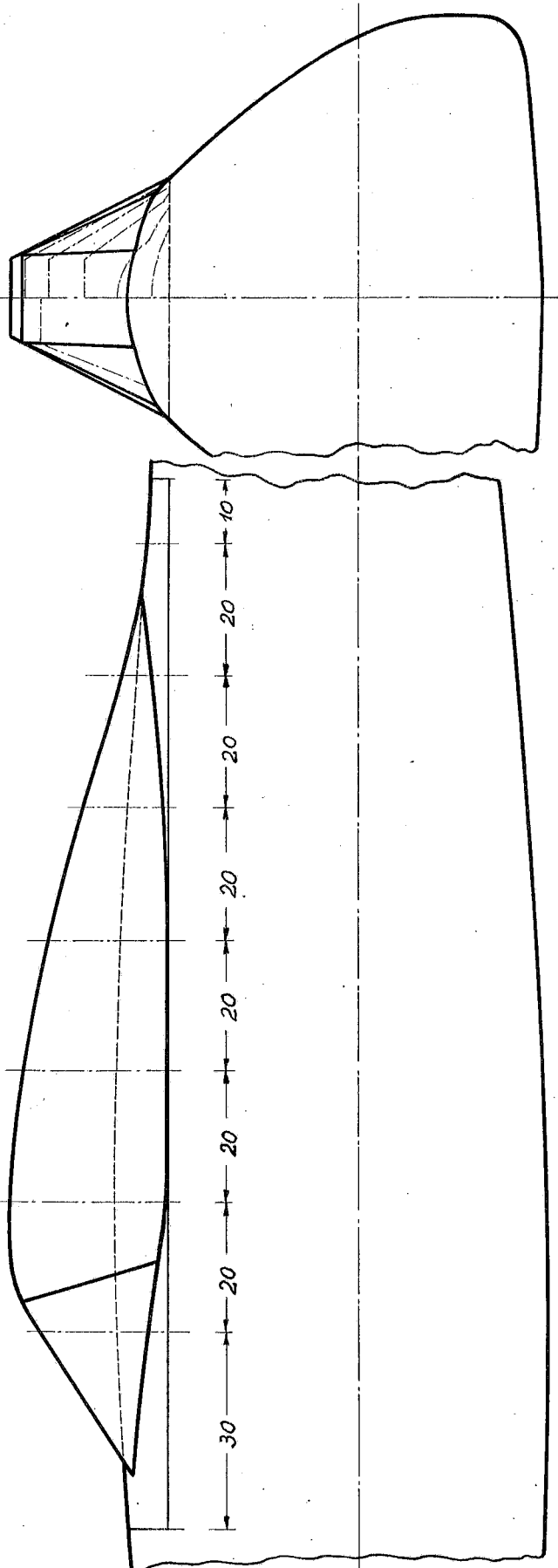
Deutsche Versuchs-  
anstalt für Luftfahrt  
e. V.  
Berlin-Adlershof

# Hochgeschwindigkeitsmessungen

Messerschmitt Me-262 Rumpf  
(L = 531 mm)

- 16 -

Kabine A1 (Serien-Kabine)



Rumpfoberfläche mit Kabine A1 — 0,0818 m<sup>2</sup>;  
Stirnfläche — 0,00455 m<sup>2</sup>;

M. 1:1

Meßtage:

Ausführungsform und Anordnung  
der Kabine A 1

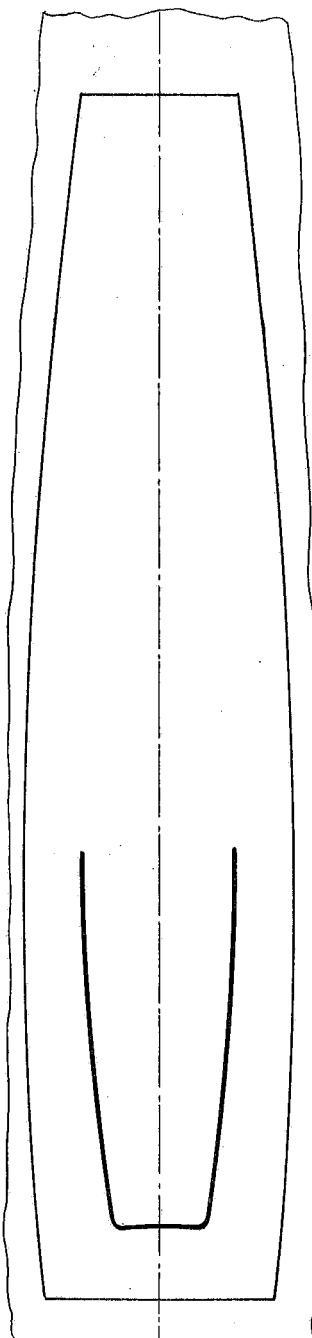
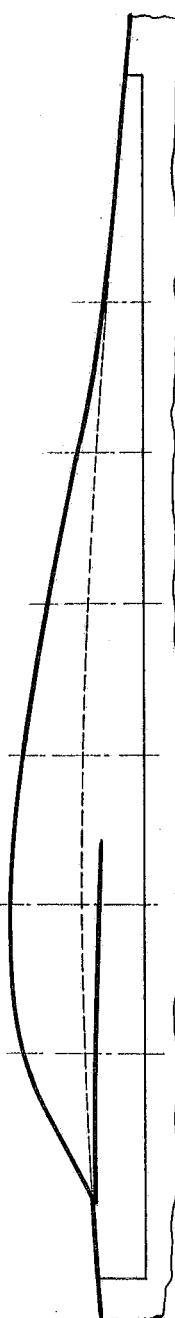
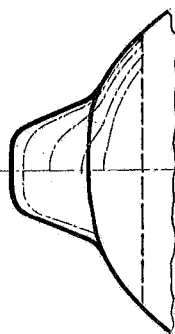
Blatt Nr.: 4





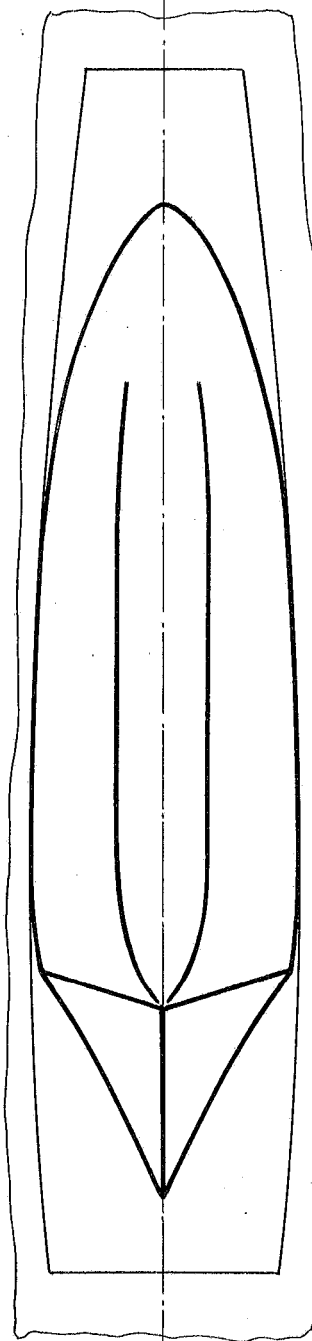
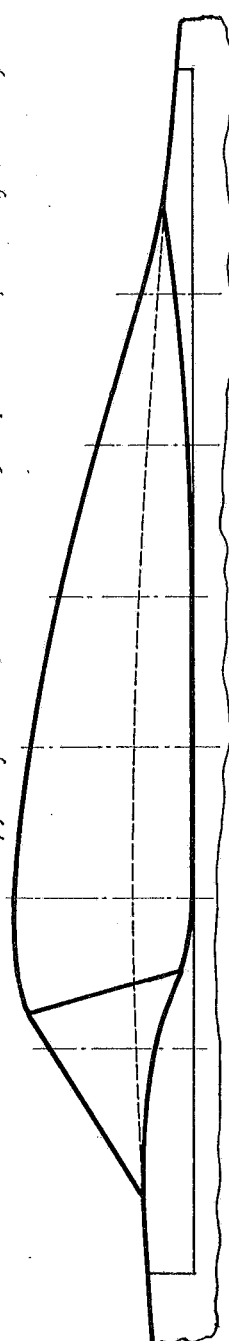
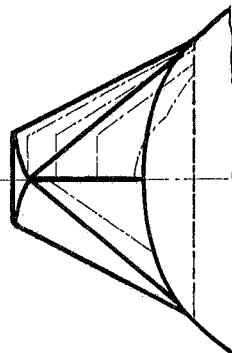
### Kabine B

Rumpfoberfläche (m. Kabine B) - 0,0806 m<sup>2</sup>; Stirnfläche - 0,00435 m<sup>2</sup>



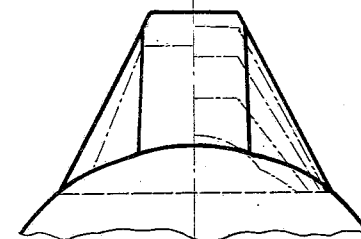
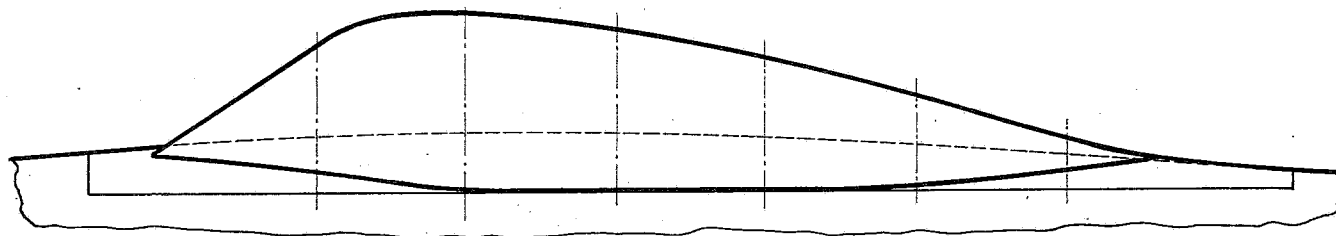
### Kabine C

Rumpfoberfläche (m. Kabine C) - 0,0815 m<sup>2</sup>; Stirnfläche 0,00455 m<sup>2</sup>



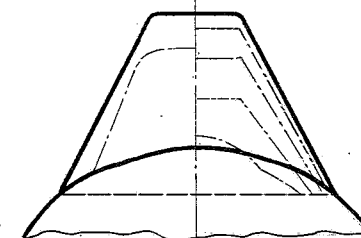
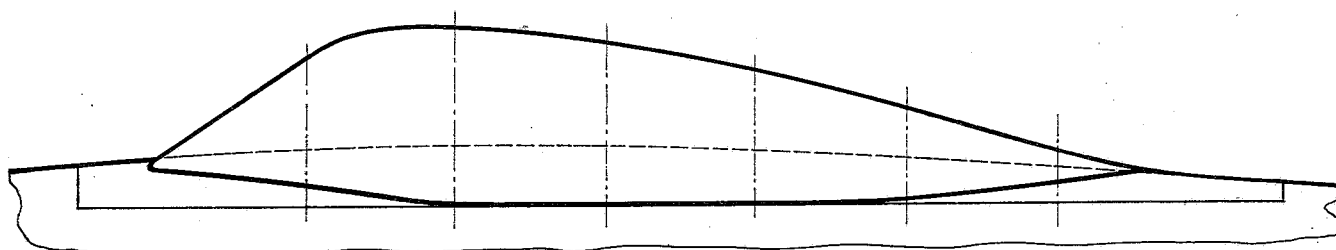
### Kabine A2

Rumpfoberfläche (m. Kabine A2) -  $0,0818 \text{ m}^2$ ; Stirnfläche -  $0,00455 \text{ m}^2$



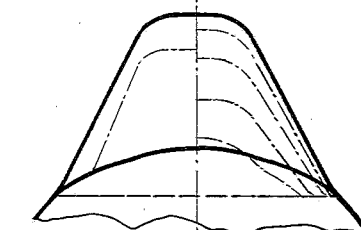
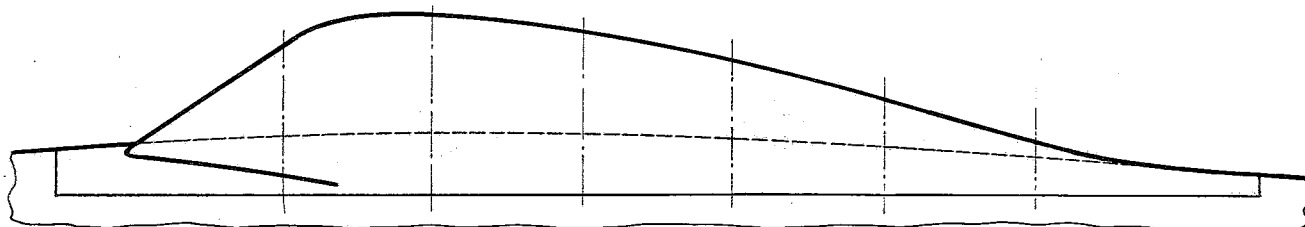
### Kabine A3

Rumpfoberfläche (m. Kabine A3) -  $0,0818 \text{ m}^2$ ; Stirnfläche -  $0,00455 \text{ m}^2$



### Kabine A4

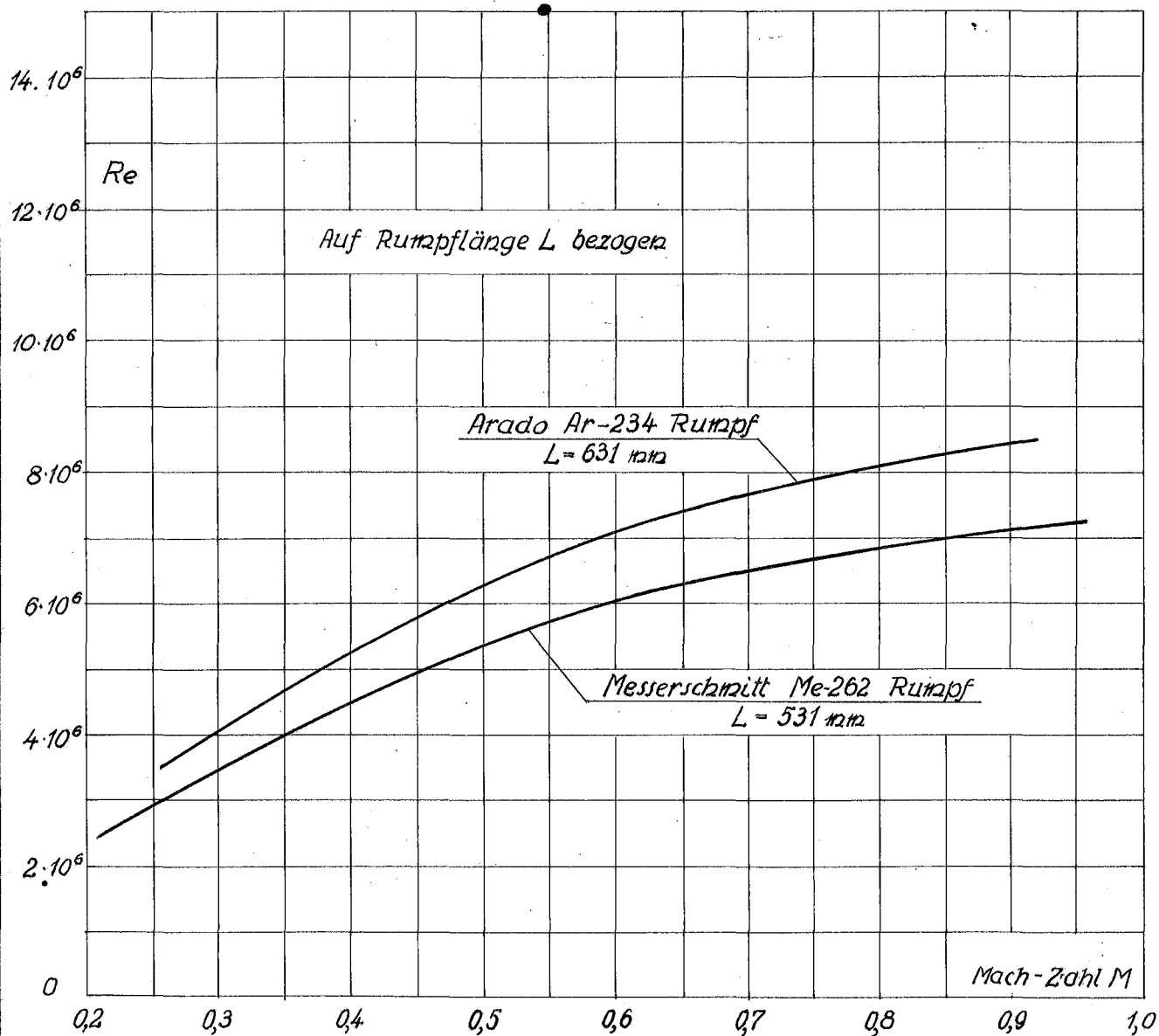
Rumpfoberfläche (m. Kabine A4) -  $0,0818 \text{ m}^2$ ; Stirnfläche -  $0,00455 \text{ m}^2$



Meßlage:

Ausführungsform der Kabinen A2, A3 und A4

Blatt Nr.: 6





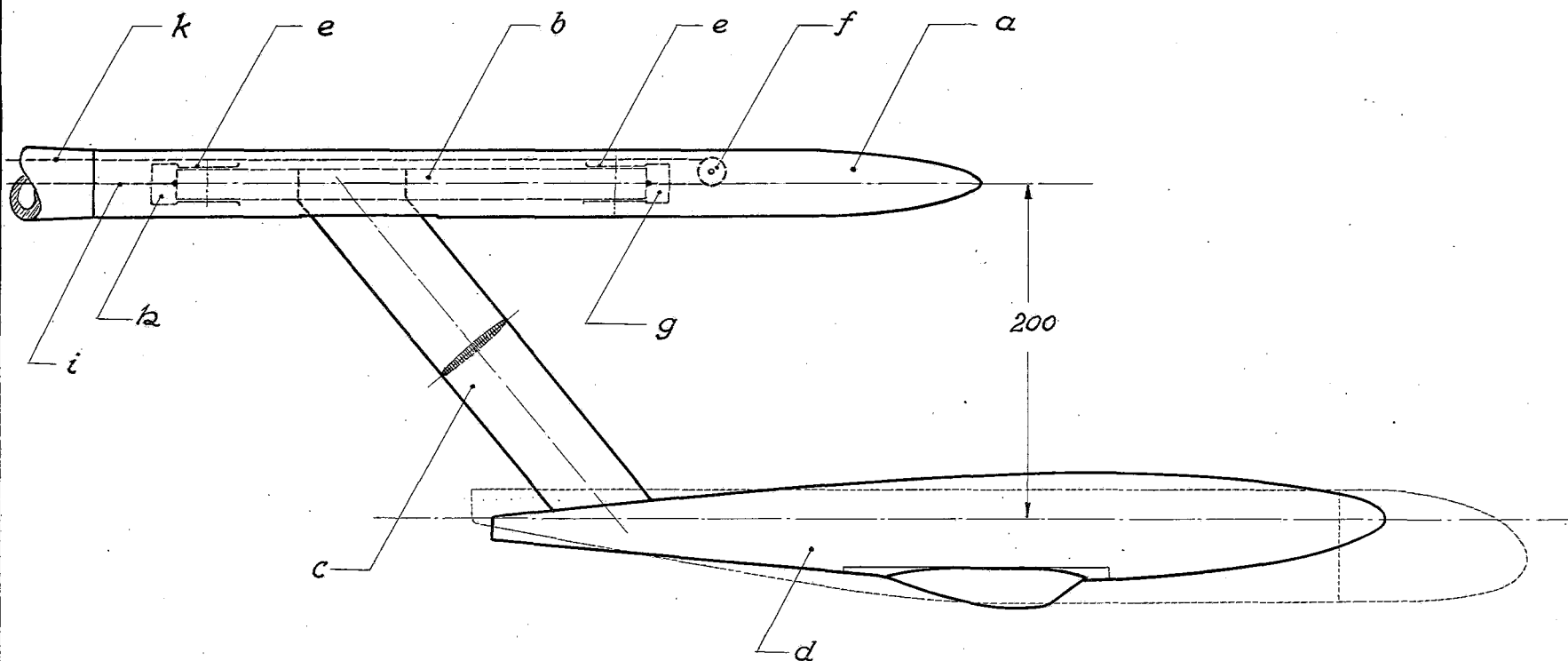
Deutsche Versuchsanstalt für Luftfahrt  
e. V.  
Berlin-Adlershof

# Hochgeschwindigkeitsmessungen

Arado Ar-234 Rumpf

Messerschmitt Me-262 Rumpf

- 20 -



- a* – feste Haltestange
- b* – bewegliche Haltestange
- c* – Haltestrebe
- d* – Rumpfmodell
- e* – Auflager

- f* – Umlenkrolle
- g* – vorderer Spalt
- h* – hinterer Spalt
- i* – zur Waage
- k* – zur Vorspannung

Meßlage:

Schema der Versuchsanordnung

Blatt Nr.: 8

